

ПОРТАТИВНІ ФЕРМЕНТНІ ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ІЗ РІЗНИМИ КАТАЛІТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Грона О. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Останнім часом з'явилася велика кількість портативних електронних пристроїв, проте вибір відповідного живлення для них, залишається значною проблемою через потребу мініатюризації та біосумісності [1].

Ферментні паливні елементи є найбільш перспективними паливними елементами для портативних пристроїв через їхню низьку вартість, компактність і гнучкість. В ферментних паливних елементах (ФПЕ) каталіз палива пов'язаний з окисно-відновними реакціями, в результаті яких отримують електричний струм. Доступні види біопалива, такі як глюкоза, лактат і піруват, можна отримувати з біологічних рідин, що містяться в поті, слюзах, крові тощо [2], що дозволяє ефективно використовувати ФПЕ в різних пристроях. Однак розробка портативних ферментних паливних елементів вимагає значного підвищення потужності і терміну служби ферментів. Метою роботи є огляд сучасних методів збільшення ефективності ФПЕ для портативних електронних пристроїв.

Якщо говорити про біокатоли, то для них використовують ферменти з групи мідних поліадерних оксидаз (МСО), так як вони здатні до ефективного відновлення O_2 до H_2O . Ці ферменти містять чотири центри купруму, при якому мононуклеарний центр міді (Т1) знаходиться на поверхні ферменту і відповідає за перенесення електронів. Крім того, на глибині 20 мкм є кластер міді типу 2 (Т2) і типу 3 (Т3) де O_2 бере участь в утворенні води [3,4].

У ФПЕ з одноферментною каталітичною системою що використовують оксидази, для біоаноду використовуються глюкозооксидаза (GOx) і лактат оксидаза (LOx), що володіють властивостями високої специфічності, активності і стабільності до глюкози і лактату.[5]

Хоча застосування оксидаз привертає багато уваги вчених і дослідників, є деякі очевидні недоліки таких ФПЕ. Наприклад, недоліком оксидаз є їх чутливість до O_2 , що зменшує термін експлуатації і ефективність таких ФПЕ [6,7]. Більше того H_2O_2 , що утворюється в процесі реакції, обмежує каталітичну активність оксидаз за фізіологічних умов [8,9].

Тому у зв'язку з цими недоліками, деякі вчені звернули увагу на дослідження дегідрогеназ. Наприклад, глюкозодегідрогеназа (GDH), що каталізує перетворення глюкози до D-глюконо- δ -лактона, що є нечутливим до кисню, і також запобігає утворенню H_2O_2 . Піролохінолінхінін-залежна глюкозодегідрогеназа (PQQ-GDH) і β -нікотинамідаденіндинуклеотид-залежні глюкозодегідрогенази (NAD-GDH) є двома типами глюкозодегідрогеназ, які зазвичай застосовуються [10]. Проте, PQQ-GDH потребує складного процесу очищення, має низьку селективність і погану теплову стабільність [10,11]. Крім того, для NAD-GDH необхідно додавати розчинні кофактори, що дещо ускладнює такий каталіз.

Якщо говорити про ФПЕ з мультиферментною каталітичною системою, то за допомогою більшої кількості ферментів можна отримати вищі показники сили струму і вихідної потужності.

Справа в тому, що при одноферментній каталітичній системі виділяється невелика частина енергії. Наприклад, за таких умов окиснення лактату дає лише 2 з 12 електронів, які можна було б отримати. Таким чином, для підвищення густини струму використовують ФПЕ з мультиферментною каталітичною системою з реакцією ферментного каскаду [12]. Для цього використовують біоанод з піранозною і целобіозною дегідрогеназою. Така система, наприклад, дозволяє отримати максимально 6 електронів з однієї молекули глюкози, при тому, що за одноферментної системи виділяється лише 2 електрони. Крім того, ще існує метод [13] повного ферментного окиснення лактату при якому використовують ферменти біохімічного циклу Кребса.

За результатами проаналізованих досліджень можна зробити висновок, що найкращими інноваціями серед ферментних паливних елементів на сьогодні

є ФПЕ з мультиферментною каталітичною системою. Такі паливні елементи мають підвищену ефективність, максимальну густину струму і потужність, та усувають ряд недоліків одноферментних ФПЕ, при цьому залишаючись компактними і гнучкими. Такі властивості, і подальші їх вдосконалення дадуть можливість використовувати дані ФПЕ як джерело живлення для безлічі портативних електронних пристроїв.

Список використаних джерел

1. A.J. Bandodkar, J. Wang Wearable Biofuel Cells: A Review // *Electroanalysis* 28(6).- 2016. - P. 1188-1200.
2. A.J. Bandodkar Wearable Biofuel Cells: Past, Present and Future // *Electrochem* 164(3).- 2017. - P. 1007-1014.
3. S. Cosnier, J. Gross, A. Le Goff, M. Holzinger, Recent advances on enzymatic glucose/oxygen and hydrogen/oxygen biofuel cells: Achievements and limitations // *Power Sources* 325.- 2016. - P. 252-263.
4. Z. Jamshidinia, F. Mashayekhimazar, M. Ahmadi, A. Molaeirad, M. Alijanianzadeh, S. Janfaza Investigation of Direct and Mediated Electron Transfer of Laccase-Based Biocathode // *Journal of Electrochemical Science and Technology* 8(2).- 2017. - P. 87-95.
5. T. Garcia-Perez, S.-G. Hong, J. Kim, S. Ha Entrapping cross-linked glucose oxidase aggregates within a graphitized mesoporous carbon network for enzymatic biofuel cells // *Enzyme Microbial Technology* 90.- 2016. – P. 26-34.
6. M. Karaśkiewicz, E. Nazaruk, K. Żelechowska, J.F. Biernat, J. Rogalski, R. Bilewicz Fully enzymatic mediatorless fuel cell with efficient naphthylated carbon nanotube–laccase composite cathodes // *Electrochem.* 20.- 2012. – P. 124-127.
7. P. Scodeller, R. Carballo, R. Szamocki, L. Levin, F. Forchiassin, E.J. Calvo Layer-by-layer self-assembled osmium polymer-mediated laccase oxygen

- cathodes for biofuel cells: the role of hydrogen peroxide // *Am. Chem. Soc.* 132(32). – 2010. – P. 1114-1132.
8. S.C.Y. Bon, H. Lalo, Z. Wang, M. Etienne, J. Gajdzik, G.W. Kohring, A. Walcarius, R. Hempelmann, A. Kuhn Multiscale-tailored bioelectrode surfaces for optimized catalytic conversion efficiency // *Langmuir* 27(20).– 2011. – P. 1237-1241.
 9. T. Miyake, S. Yoshino, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa Self-regulating enzyme–nanotube ensemble films and their application as flexible electrodes for biofuel cells // *Am. Chem. Soc.* 133(13).– 2011. – P. 5129-5134.
 10. C. Chen, Q. Xie, D. Yang, H. Xiao, Y. Fu, Y. Tan, S. Yao Recent advances in electrochemical glucose biosensors: a review // *RSC Advances* 3(14).- 2013. – P. 4473-4490.
 11. M.N. Zafar, X. Wang, C. Sygmund, R. Ludwig, D. Leech, L. Gorton Electron-transfer studies with a new flavin adenine dinucleotide dependent glucose dehydrogenase and osmium polymers of different redox potentials // *Anal. Chem.* 84(1).– 2012. – P. 334-341.
 12. M. Shao, M.N. Zafar, C. Sygmund, D.A. Guschin, R. Ludwig, C.K. Peterbauer, W. Schuhmann, L. Gorton Mutual enhancement of the current density and the coulombic efficiency for a bioanode by entrapping bi-enzymes with Os-complex modified electrodeposition paints // *Biosens. Bioelectron.* 40(1).– 2013. – P. 308-314.
 13. D. Sokic-Lazic, A.R. de Andrade, S.D. Minteer Utilization of enzyme cascades for complete oxidation of lactate in an enzymatic biofuel cell // *Electrochim. Acta* 56(28).– 2011. – P. 10772-10775.